

ТЕКСТУРА НАГАРТОВАННОЙ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Иванова М.А.

Руководители – доц., к.т.н. Демаков С.Л., Илларионов А.Г.

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
г. Екатеринбург, unl@mtf.ustu.ru

Математическим моделированием с применением метода конечных элементов решена задача волочения медной проволоки и выявлены наклоны направлений главных удлинений вдоль текущего радиуса заготовки. Выявлено, что угол наклона направлений главных удлинений при перемещении от центра заготовки к периферии увеличивается. Методами локального текстурного анализа показано увеличение угла наклона доминирующей компоненты $\langle 111 \rangle$ от центра заготовки к периферии и связанное с этим явлением уменьшение полюсной плотности. Установлена качественная связь между характеристиками деформированного и текстурного состояния.

Краткое описание производственного процесса. Для исследования использовали проволоку из меди марки М00. В режиме горячей обработки давлением коэффициент вытяжки составляет 167, степень деформации (логарифмическая) равна 5,1, а накопленное относительное обжатие 99 %.

Катанка диаметром 8 мм из меди марки М00 подвергается волочению с получением проволоки диаметром 1,38 мм на стане многократного волочения за 12 проходов при скорости волочения на последнем тянущем шкиве 20 м/с.

Структурный и текстурный анализ. Для структурного и текстурного анализа использовали растровый электронный микроскоп.

На рис. 1 приведена фотография шлифа, из которой видна характерная для деформированного состояния при волочении сильная вытянутость зерен вдоль оси проволоки.

В теле и по границам зерна видны отдельные включения, которые являются частицами закиси меди (Cu_2O) размером до 3 мкм. Распределение выделений характеризуется строчечностью по сечению проволоки, которая сохраняется по мере продвижения от центра к поверхности полуфабриката, но становится менее выраженной. Поперечный размер зерен центральных и периферийных областей практически не отличается и лежит в пределах 1...3 мкм.

Для анализа текстуры с поперечного сечения был построен ряд полюсных фигур, полученных с областей последовательно расположенных по радиусу проволоки (рис. 2). Из полюсных фигур видно, что во всех случаях наиболее сильной ориентировкой является направление $\langle 111 \rangle$, но наклон этой ориентировки относительно оси проволоки различен. В центре проволоки ориентировка $\langle 111 \rangle$ совпадает с осью волочения и текстура

является аксиальной, а на периферии наблюдается отклонение ориентировки $\langle 111 \rangle$ от оси волочения и образование конической текстуры $\langle 111 \rangle$ или аксиальной текстуры, близкой к $\langle 335 \rangle$ - $\langle 112 \rangle$, но при этом надо отметить, что в тангенциальном направлении усиливается интенсивность ориентировки $\langle 111 \rangle$. Таким образом, происходит изменение положения максимума полюсной плотности от $\langle 111 \rangle$ к $\langle 335 \rangle$ - $\langle 112 \rangle$ по стороне стереографического треугольника $\langle 111 \rangle$ - $\langle 100 \rangle$ по мере продвижения от центра к поверхности проволоки.

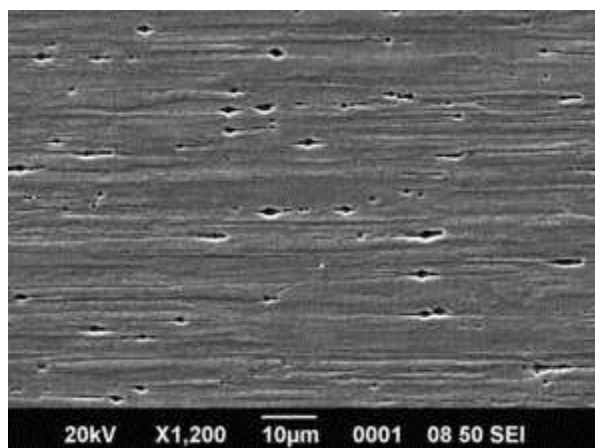


Рисунок 1. Микроструктура медной проволоки после холодной деформации с относительным обжатием 97 %

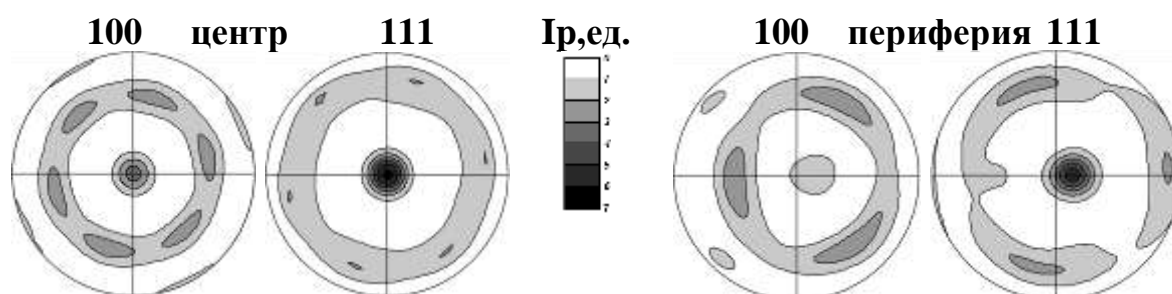


Рисунок 2. Прямые полюсные фигуры поперечного сечения медной проволоки

Анализ полюсных фигур показал, что следующая по интенсивности ориентировка $\{100\}$ характеризуется полюсной плотностью в 2...3 раза ниже в центре заготовки и в 3...4 раза ниже в периферийных слоях проволоки по сравнению с $\langle 111 \rangle$. Для их оценки построены графики полюсных плотностей I_p доминирующих ориентировок $\{111\}$ и $\{100\}$ (рис. 3).

Полюсные плотности доминирующих компонент имеют тенденцию к понижению от центра образца к периферии, что может свидетельствовать об увеличении угла наклона ориентировок относительно оси заготовки.

Эпюра угла отклонения компоненты $\{111\}$ от оси заготовки вдоль радиуса показана на рис. 4. Из графика видно, что при увеличении текущего радиуса происходит нарастающее отклонение компоненты от оси заготовки.

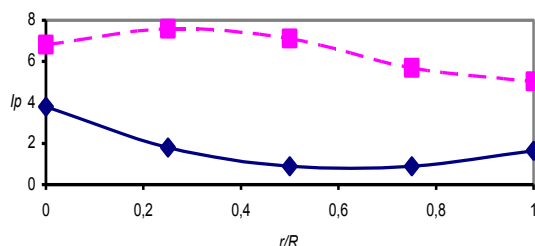


Рисунок 3.

Полюсные плотности доминирующих ориентировок $\langle 111 \rangle$ (штриховая линия) и $\langle 100 \rangle$ (сплошная линия) вдоль относительной радиальной координаты

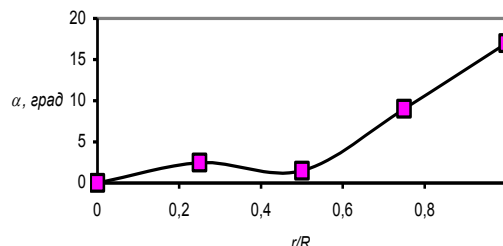


Рисунок 4.

Эпюра угла отклонения компоненты $\langle 111 \rangle$ от оси заготовки вдоль безразмерного радиуса

Обсуждение результатов. В текстурном анализе для случая деформации большинства ГЦК металлов существует следующее правило: интенсивность расположения ориентировки $\langle 111 \rangle$ нарастает вдоль оси удлинения. При волочении в первом приближении эта ось располагается вдоль оси заготовки. Во втором приближении следует учесть отсутствие параллельности осей удлинений и оси заготовки, которое задается конфигурацией инструмента и граничными условиями, например, трения. В механике деформируемого тела это явление описывается углом наклона направлений главных удлинений (НГУ) к оси заготовки. Чем больше угол наклона НГУ, тем больше должна отклоняться основная ориентировка текстуры относительно оси заготовки.

Решением задачи методом конечных элементов показано, что угол наклона НГУ увеличивается при перемещении анализируемой точки от центра к периферии проволоки. Наряду с этим, методами текстурного анализа показано, что угол отклонения компоненты $\langle 111 \rangle$ подчиняется той же тенденции и в результате полюсная плотность этой ориентировки уменьшается вдоль оси заготовки.

Таким образом, если сравнить результаты расчета деформированного состояния и данные текстурного анализа, то окажется, что для прогнозирования остроты текстуры при волочении необходимо учитывать разворот направлений главных удлинений.

Эксперименты показали существенное превышение количества ориентировки $\langle 111 \rangle$ в протянутой с большими деформациями медной проволоке по отношению к другим ориентировкам. Эти данные качественно согласуются с результатами работы Ивановой С., Станоевич Б., Маркович Д. «Влияние высоких степеней деформаций на текстуру медной проволоки».